



## Influence de la présence d'un coude sur la dispersion des polluants éjectés par les cheminées

Ines Bhourri Baouab, Nejla Mahjoub Said, Hatem Mhiri, Georges Le Palec,  
Philippe Bournot

### ► To cite this version:

Ines Bhourri Baouab, Nejla Mahjoub Said, Hatem Mhiri, Georges Le Palec, Philippe Bournot. Influence de la présence d'un coude sur la dispersion des polluants éjectés par les cheminées. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00166264

**HAL Id: hal-00166264**

**<https://hal.science/hal-00166264>**

Submitted on 29 Aug 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# INFLUENCE DE LA PRESENCE D'UN COUDE SUR LA DISPERSION DES POLLUANTS EJECTES PAR LES CHEMINEES

Ines BHOURI BAOUAB<sup>1</sup>, Nejla MAHJOUB SAID<sup>2</sup>, Hatem MHIRI<sup>1</sup>

Georges LE PALEC<sup>3</sup>, Philippe BOURNOT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ecole Nationale d'ingénieurs de Monastir, Tunisie.

<sup>2</sup>Faculté des sciences de Monastir, Tunisie, <sup>3</sup>UNIMECA, Marseille, France

*bhour\_i nes@yahoo.fr*

## Résumé :

Une étude expérimentale appuyée par une étude numérique est menée afin de mettre en évidence l'influence de la présence d'un coude sur la dispersion des polluants éjectés par une cheminée. L'étude numérique consiste à simuler l'écoulement avec un modèle de fermeture au second ordre, et la validation des résultats est assurée grâce à des mesures à échelle réduite. La partie expérimentale est assurée par la vélocimétrie laser par imagerie de particules (PIV) qui est une technique de mesure non intrusive ainsi que par la Tomographie Laser. Les résultats obtenus ont permis de déterminer l'effet de la variation de plusieurs paramètres tel que la vitesse du vent, le rapport de la vitesse d'évacuation des polluants à la vitesse du vent et la présence du coude. Il en a été déduit que la variation de la direction du vent est très influant sur la dispersion des polluants.

**Mots clés :** Polluant, cheminée, coude, vitesse, PIV, tomographie laser...

## INTRODUCTION

La pollution atmosphérique est un phénomène qui retient l'attention de tout le monde. Le souci principal est la pureté de l'air qu'on respire, et l'impact des fumées rejetées par les cheminées industrielles sur les bâtiments avoisinants le site de production nuit à qualité de cet air. A l'issue d'une étude bibliographique, il paraît que plusieurs paramètres peuvent influencer la dispersion des polluants issus d'une cheminée industrielle : la direction de vent, le rapport de la vitesse d'éjection des polluants à la vitesse du vent, la hauteur de la cheminée, la géométrie et le positionnement des bâtiments par rapport à la cheminée, la caractéristique d'émission et la topographie des lieux etc.... Smith et Frankenberg [1] ont montré que les effluents émis par des cheminées de faible hauteur sont arrêtés dans leur ascension et s'accumulent au-dessous de la limite de la couche d'inversion, tandis que les effluents émis par des cheminées débouchant au dessus de la couche d'inversion poursuivent leur ascension normalement. Ils ont aussi prouvé que la concentration des polluants obtenus par des cheminées élevées est très importante, durant les heures du jour instable. Willis et al [2] ont donné des descriptions détaillées basées sur des simulations numériques de la dispersion des polluants issus des cheminées courtes dans la couche limite convective mixte. Ils ont simulé au laboratoire la distribution du champ de concentration d'une cheminée de faible hauteur dans la couche limite convective mixte. La caractéristique exceptionnelle de ce profil est la

montée de la ligne centrale du panache définie comme le lieu géométrique de la concentration maximale.

Une étude numérique bidimensionnelle sur la dispersion d'un polluant constitué d'un mélange de dioxyde de carbone et de l'air en régime turbulent, tient compte de l'influence de la hauteur de la cheminée et du rapport des vitesses  $U_0/V_\infty$  sur l'écoulement montre que la hauteur effective des rejets des polluants conditionne l'intensité des dépôts au niveau du sol et que la dispersion des polluants est d'autant plus forte que la vitesse du vent est élevée. La hauteur effective des rejets de polluants conditionne l'intensité des dépôts au niveau du sol. Ils seront d'autant plus faibles que cette hauteur est élevée, d'où la nécessité d'estimer la hauteur effective à partir de laquelle le panache devient horizontale. Aucune théorie de surélévation ne prend en compte tous les paramètres. De plus, certains ne sont pas toujours mesurables. Plusieurs formules ont été consacrées pour le calcul de la surélévation du panache, citons Davidson [3] estime que cette surélévation est déterminée par la position du point à partir duquel la pente du panache est inférieure à 0.1, alors que Holland [3] considère la différence d'altitude entre le sommet de la cheminée et l'axe du panache lorsque celui-ci est horizontal il a spécifié ses études pour des sources assez importantes (1.7 à 4.3 m de diamètre) et pour des températures de fumées allant de 82°C à 204°C, Bosanquet [3] pense que la sur hauteur est atteinte lorsque les effets de gravité et les effets cinétiques engendrés par l'émission ont disparu.

La géométrie de la cheminée est aussi un paramètre déterminant pour les rejets des polluants, comme par exemple les cheminées coudées. Notre travail s'inscrit dans ce contexte puisqu'il constitue une contribution à l'étude de la dispersion des polluants rejetés par les cheminées coudées.

## 1. ETUDE EXPERIMENTALE

### 1.1 Dispositif expérimental :

#### 1.1.1 Visualisation par PIV (vélocimétrie par imagerie de particules) :

La vélocimétrie laser par imagerie de particules (PIV)[4] est une technique de mesure non intrusive qui nous permet d'explorer l'écoulement par des visualisations et des mesures globales des champs instantanés de vitesse.

#### 1.1.2 Visualisation par tomographie laser :

La tomographie Laser [4] est une technique de mesure qui permet de visualiser le comportement de l'écoulement sur une grande distance.

### 1.2 Résultats expérimentaux

Sur la Figure 1, nous avons représenté la visualisation de l'écoulement simulé d'une cheminée coudée de diamètre 10mm et de hauteur 10 cm avec une vitesse d'éjection de l'air fixée à  $U_0 = 8$  m/s pour différentes vitesses du vent ( $U_\infty = 4$  m/s, 5 m/s et 6 m/s ). Les photos représentent un « zoom » au niveau de la sortie de la cheminée coudée. On remarque que l'entraînement du jet est de plus en plus important au fur et à mesure que la vitesse du vent augmente : le recouvrement latéral est plus important en absence du vent, puis l'influence progressive de ce dernier conduit au rétrécissement de l'épaisseur du jet

On observe sur cette figure des petites structures tourbillonnaires au voisinage de la sortie de la buse qui s'amplifient lorsqu'on s'éloigne de la cheminée coudée. Ces structures turbulentes caractéristiques sont appelées : instabilités de Kelvin-Helmholtz.

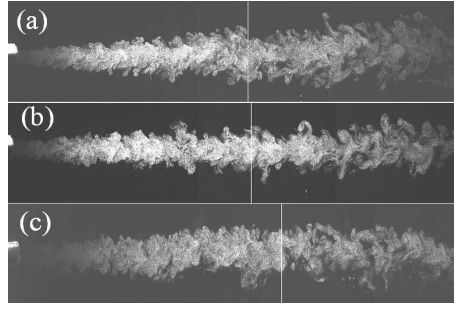


Figure1 : Visualisation de l'écoulement d'un panache issu d'une cheminée coudée à une vitesse  $U_0 = 8 \text{ m/s}$  (a)  $U_\infty = 4 \text{ m/s}$ , (b)  $U_\infty = 5 \text{ m/s}$  et (c)  $U_\infty = 6 \text{ m/s}$

## 2. ETUDE NUMERIQUE

### 2.1. Mise en équation :

#### 2.1.1 Equation moyenne de conservation de masse :

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_i)}{\partial x_i} = 0 \quad i=1, 2, 3 \text{ respectivement pour } x, y \text{ et } z \quad (1)$$

#### 2.1.2 Equation moyenne de conservation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{u}_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \bar{\tau}_{ij} - \overline{\rho u_i'' u_j''} \right) + (\bar{\rho}_\infty - \bar{\rho}) g \delta_{ij} \quad (2)$$

#### 2.1.3 Equation moyenne de conservation de l'énergie :

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{T})}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{T})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\lambda}{C_p} \frac{\partial \tilde{T}}{\partial x_j} - \overline{\rho u_j'' T''} \right) \quad (3)$$

#### 2.1.4 Equation moyenne de conservation des espèces :

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{C}^m)}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \tilde{u}_j \tilde{C}^m)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \bar{\rho} D^m \frac{\partial \tilde{C}^m}{\partial x_j} - \overline{\rho u_j'' C^{m''}} \right) \quad (4)$$

### 2.2. Fermeture du système d'équation

Dans notre travail on utilise le modèle de turbulence au second ordre RSM. Afin de résoudre les équations de Navier Stocks.

### 2.3. Conditions aux limites

limites	Vitesse	Température	Fraction massique
Sortie de la cheminée coudée	$\tilde{u} = u_0, \tilde{v} = 0, \tilde{w} = 0$	$\tilde{T} = T_0$	$\tilde{f}_m = f_{0m}$
Sortie de la cheminée droite	$\tilde{u} = 0, \tilde{v} = v_0, \tilde{w} = 0$		
Ecoulement transversal vent	$\tilde{u} = u_\infty, \tilde{v} = 0, \tilde{w} = 0$	$\tilde{T} = T_\infty$	$\tilde{f}_m = 0$

Tableau1 : Conditions aux limites

## 2.4. Validation du modèle

Afin de valider les résultats obtenus par la simulation numérique nous la comparons avec les profils expérimentaux tirés par la technique de mesure PIV.

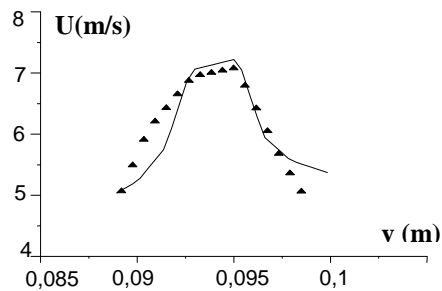


Figure2 : Evolution de la vitesse longitudinale pour  $U_{\infty}=5$  m/s et  $U_0=8$  m/s

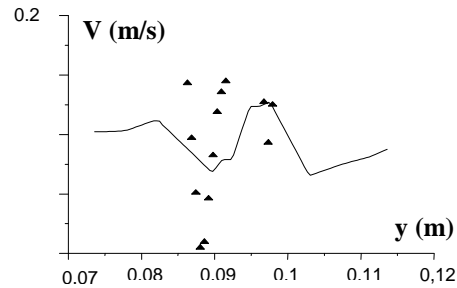


Figure3 : Evolution de la vitesse verticale pour  $U_{\infty}=5$  m/s et  $U_0=8$  m/s

On note un accord quantitatif pour la vitesse longitudinale et un accord qualitatif pour la vitesse transversale, cet écart entre les résultats numériques et expérimentaux est peut être dû aux manques d'ensemencement.

## 2.5 Résultats numériques

La fumée crachée par la cheminée est un mélange de gaz, de composition : 20,9% dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), 76,9% d'azote ( $\text{N}_2$ ), 1,8% d'oxygène ( $\text{O}_2$ ), 0,4% dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ). En traitant l'évolution de la composition de fumée on a constaté que toutes les espèces ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) ont le même comportement : c'est pour cette raison que l'on a choisi le dioxyde de carbone comme référence d'étude.

Dans un premier instant on a choisi la direction du vent dans le même sens que celui du coude.

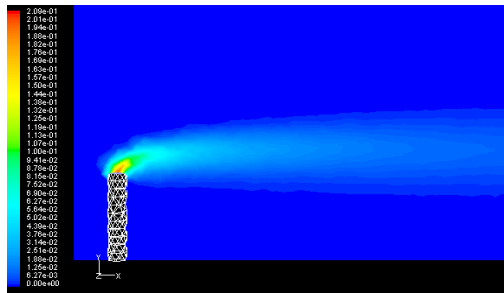


Figure 4 : Contour de la fraction massique de  $\text{CO}_2$  pour  $U_{\infty}=6$  m/s,  $U_0=0$  m/s pour une cheminée droite

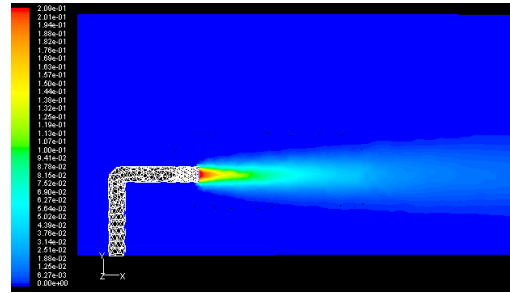


Figure5 : Contour de la fraction massique de  $\text{CO}_2$  pour  $U_{\infty}=6$  m/s,  $U_0=0$  m/s pour une cheminée coudée

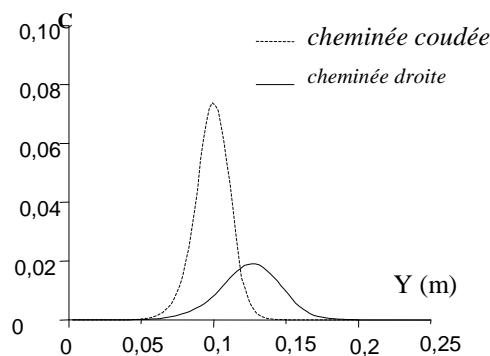


Fig 6 : Evolution de la concentration de  $\text{CO}_2$  pour les deux configurations pour  $x=0.200$  m  
Albi, France du 28 au 30 Août 2007

La figure 6 représente l'évolution de la fraction massique de CO<sub>2</sub> pour les deux configurations dans le plan médian. On note que la fraction massique de CO<sub>2</sub> est plus intense pour le cas d'une cheminée coudée, en effet pour cette configuration le mélange du polluant avec le vent est plus faible que pour le cas d'une cheminée droite.

Dans une deuxième partie on a changé la direction du vent ( $\alpha=15^\circ$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $\alpha=45^\circ$ ) en gardant le même module qui est égale à 16 m/s et la même vitesse d'éjection égale à 8 m/s.

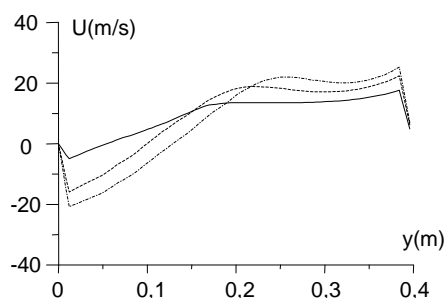


Figure 7 :  $U=f(x=0,2 ; y)$   
—  $\alpha=15^\circ$ , --  $\alpha=30^\circ$ , ...  $\alpha=45^\circ$

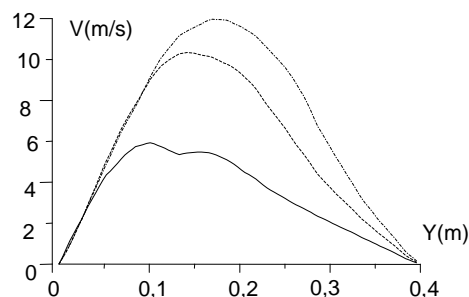


Figure 8 :  $V=f(x=0,2 ; y)$   
—  $\alpha=15^\circ$ , --  $\alpha=30^\circ$ , ...  $\alpha=45^\circ$

Sur ces courbes on a tracé l'évolution longitudinale et verticale de la vitesse à la position  $X=0.2$  m et  $Z=0$ . On note que le profil de la vitesse garde la même allure pour les trois valeurs de  $\alpha$ . De plus on remarque que plus l'angle d'orientation est grand plus la dispersion des contaminants est importante.

## CONCLUSION

Lors de ce travail nous avons mis en évidence l'influence de la présence d'un coude sur la dispersion des polluants. La vitesse du vent est un facteur très influant sur la dispersion des polluants éjectés par les cheminées industrielles. Lorsque la direction du vent est similaire à celle du coude on note que la fraction massique du polluant est plus atténuée pour une cheminée coudée que droite. L'angle d'orientation de la vitesse du vent influe sur la dispersion des polluants.

## Nomenclature

$\infty$	Milieu ambiant;
$o$	A la sortie de la cheminée,
$-$	Moyenne,
$\sim$	Moyenne de Favre

$\overline{u_i u_j}$	Tension de Reynolds
$\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w}$	Composantes de la vitesse moyenne respectivement suivant x, y, z
	Coordonnées longitudinale, verticale et latérale

## Références

- [1] : Smith M.E. and Frankenberg T. Improvement of ambient sulfur dioxide concentrations by conversion from low to high stacks, *J. Air Pollut. Control Ass.* 25, 595-601, 1975
- [2] : Willis G. E. and Deardorff J. W. A laboratory model of diffusion into a convective planetary boundary layer. *Q. J. R. met. Soc.* 102, 427-445. 1976
- [3] : Détrie J. P., Les industries, leurs productions, leurs nuisances : la pollution atmosphérique. pp. 160, 1969
- [4] : Nejla Mahjoub Said : Etude de la dispersion d'un panache issu d'une cheminée: application de la maîtrise de la dispersion d'un polluant, thèse, université Aix-Marseille, 2002.